



Title	高速点火レーザー核融合用フォームクライオターゲットの開発に関する研究
Author(s)	藤村, 猛
Citation	大阪大学, 2011, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/27631
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	ふじ 藤	むら 村	たけし 猛
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)		
学 位 記 番 号	第 2 4 6 0 1 号		
学 位 授 与 年 月 日	平 成 23 年 3 月 25 日		
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻		
学 位 論 文 名	高速点火レーザー核融合用フォームクライオターゲットの開発に関する研究		
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 乗松 孝好 (副査) 教 授 栗津 邦男 教 授 中井 光男		

論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、著者が過去6年間に亘り行った高速点火レーザー核融合用フォームクライオターゲットの開発に関する研究内容をまとめたものである。

レーザー核融合研究が進むにつれ、大阪大学レーザーエネルギー学研究センターでは高速点火方式という独自の手法に注力して研究するようになった。この方式においては燃料容器たるターゲットの形状が特徴的であり、水素同位体燃料を直接導入する燃料導入管と、追加熱レーザーのエネルギーを爆縮プラズマの中心部まで届けるために中空球に円錐形のコーンが中空球に接着している構造をとる。そしてこの中空球内部に均一に固体層として燃料層を形成する必要がある。このターゲットを完成させるためには中空球を高精度に加工する技術、組立ての技術、燃料を充填するための冷却技術やその計測技術など、従来とは異なる技術が必要となった。

本研究ではフォーム法に注目し、レーザー加工による低密度フォーム球の穴あけ加工技術、組立て後の常温気密性試験の技術、フォーム内部の固体燃料の充填率についての評価技術、充填率構造のための冷却技術、フォーム内部の燃料の量を測定する技術について開発した。

本論文は7章よりなっている。

第1章は緒論であり、高速点火用ターゲットに要求される条件、真球性、大きさ、膜厚、評価技術の精度等、本研究の背景についてまとめ、研究の目的を明らかにした。

第2章では、レーザー加工による低密度フォーム材料の穴あけ加工についてまとめた。本研究ではフォーム法の材料として有力な候補であるResorcinol-Formaldehyde form の特性を評価し、その物性値に基づき比較的強度の低いレーザーによる熱分解加工による高精度の穴あけ加工を行った。

第3章では組立て方法についてまとめた。穴あけ加工後の処理や、フォーム球にコーンと燃料導入管の接着の方法、蒸発防止膜のコーティング方法についてまとめた。さらに組立てた後のターゲットの気密性を調べるための方法を開発した。

第4章では基礎実験としてフォームに充填される固体燃料の量についての研究をまとめた。固体燃料がどの程度フォーム材料に含まれることがあるのかについて明らかにした。また充填率向上のための燃料層の冷却方法の開発も行った。

第5章では実際に作製したターゲットに燃料を充填し、固化させた内容についてまとめた。燃料ガスの圧力と冷却ガスの温度をコントロールしながら燃料を充填し、固化させたことについてまとめた。

第6章ではターゲットに充填された燃料の量を測定するための技術についてまとめた。レーザーを用いた干渉計測により、充填前と充填後のターゲットの干渉縞を比較、評価することによって燃料の充填量を測定した。

第7章は結論であって、これらの研究によって得られた成果をまとめた。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は高速点火方式によるレーザー核融合実験に用いられる燃料ターゲットの開発に関する所見をまとめたものである。高速点火ターゲットは中空状の蒸発防止膜の中に低密度フォームに支えられた燃料層、追加熱レーザーの伝搬路が圧縮ビームにより蒸発した膨張プラズマで遮蔽されることを防ぐコーンによって構成される。製作する上での技術課題は壊れやすい低密度フォームの加工と、充填された固体燃料層の ρR 値 (密度×厚さ) を正確に制御することである。現在進められている FIREX プロジェクトで用いられるレーザーに適したターゲットは直径0.5 mm、燃料層の厚さは20 μm である。充填精度は ρR 値で2%程度の精度で制御する必要がある。このプロセスでは水素は固化するとき、体積にして89%に収縮する。収縮に伴い、小さな気泡が発生する恐れが指摘され、レーザー爆縮や追加熱タイミングに悪影響があるものと、長年論争になっていた。申請者は極低温における精密な干渉計測により、この充填率の問題に終止符を打ち、今後の展望を示した。

極低密度フォームのレーザー加工では材料となるレゾルシノール-フォルムアルデヒドフォームの特性を生かし、熱分解法で、数 μm の精度で加工できることを示した。この穴あけ加工後、実際に FIREX プロジェクトで使用されるサイズのターゲットを製作する手法を確立した。さらにこのターゲットが常温で気密性を有するかを確認する方法の開発も行い、模擬燃料供給実験に供給した。これにより世界で初めて高速点火フォームターゲットの燃料充填実験ができるようになった。この組立て方法や気密性試験方法の概念は今後の高速点火フォームターゲットの製作に利用できるだけでなく、将来の炉においても有用となる概念である。

フォーム中での水素燃料充填率の議論では、光路長の勾配と温度勾配が直交するウェッジ状のフォームを含有するセルを製作し、水素の固化プロセスを干渉計測で追跡するシステムを開発した。この装置を活用することにより、十分なデータがなかった固体水素のオルト、パラの状態変化による屈折率の変化を明らかにすると共に、精密な干渉計測により、フォームの空洞部分に対する固体水素の充填率が平均で99.1%であることを実験的に確かめ、充填率に対する論争に終止符を打った。

加えて実際に FIREX プロジェクトで使用されるサイズのターゲットを用いて、模擬燃料供給実験を行った。この実験においては、燃料導入管を用いてフォーム層内に燃料の充填ができることを示した。さらにフォーム層内に含んだ液体模擬燃料を固化させ、固体燃料層の作製に成功した。これは、実際に高速点火方式によるレーザー核融合実験にターゲットを供給する際の温度、圧力の制御方法を示したことになる。充填量の制御のために、干渉計測を用いた測定を行った。この測定は精度に課題は残すものの2次元での測定に成功し、充填量の分布を測定するための基礎となるものである。

また、実際の高速点火ターゲットで、前節の充填率を達成するために、指向性のある冷却法で、フォームの部分だけに水素を充填する方法を考案した。この方法はターゲット内部への液体水素供給量が多少変動しても爆縮タイミングに影響を及ぼさない、現実的な手法であり、高速点火方式によるレーザー核融合実験に極低温固体水素燃料を持つターゲットを実際に供給できる道筋を示した。

以上のように、本論文は低密度フォームの加工に道を開き、固体燃料を持つ高速点火ターゲットをレーザー爆縮実験に導入する為の道を開いたもので、今後の同分野の発展に貢献できる内容を持っている。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。